

新潟西海岸における汀線付近の侵食メカニズムの解明について

大下 善幸¹・室 善一郎²

^{1,2}新潟港湾空港技術調査事務所 調査課 (〒951-8011 新潟県新潟市中央区入船町3778)

新潟西海岸の侵食対策事業は1952年に開始され、離岸堤等を建設したが、侵食を完全に止めることは出来ていない。その後、景観に対する要望も高まったため1987年からは、潜堤と突堤及び養浜を組合わせた面的防護工法により対策を実施している。

しかし、東側区間の養浜砂の汀線^{*}が約3m/年後退するなどの状況が確認されているため、今後の整備が予定されている寄居浜地区の参考とするため、ほぼ完成している第一区画の断面的な変化について、二次元移動床水理模型実験により侵食のメカニズムを検討するものである。

^{*}汀線：水際線

キーワード 侵食，二次元移動床水理模型実験，地盤沈下，潜堤，突堤



図-1 新潟西海岸の地区および区画名称

1. はじめに

新潟西海岸では、潜堤と突堤および養浜を組み合わせた、面的防護工法による海岸保全事業を進めている。この工法において、潜堤背後に洗掘溝が形成されるという独特な地形変化が現れている。

これに加えて、潜堤背後の汀線付近（浅海域）の養浜断面についても非常に特徴的な断面変化が生じていることが、最近わかった。吉田ら（2008）はこの点について指摘しているが、十分な考察には至っていない。

そこで、今回は面的防護実施後において生じている汀線付近の養浜断面変化に的を絞り、波浪以外の侵食の要因を把握するため、現地データと水理模型実験データによる検討を行ったものである。

2. 養浜断面変化の状況

潜堤背後の浅海域で生じる養浜断面変化の現状を述べるため、潜堤と突堤の建設及び主要な養浜を終えている

第一区画（図-1）の、2001年から2007年の養浜断面の経年変化（50m間隔6線の平均）を図-2に示す。この調査の結果、①水深2m以浅の汀線付近は、前浜勾配を維持しながら、約3m/年の一定速度で後退していること、②水深2m付近に平坦な地形が形成されていること等がわかった。

なお、検討対象区間は突堤で囲われていること、測線の汀線変化量の標準偏差が小さいことから、検討対象区間内では沿岸漂砂は少なく、主に岸沖及び水深方向の漂砂である二次元的な地形変化を生じているといえる。

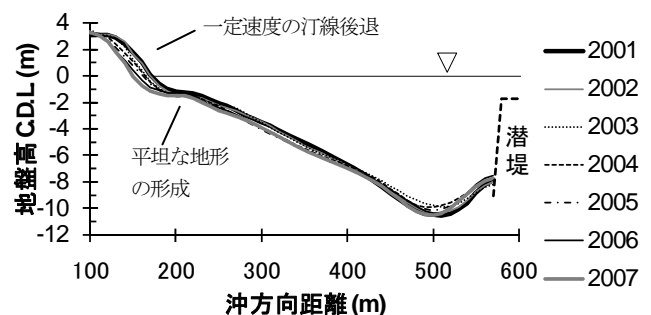


図-2 潜堤背後の養浜断面変化

3. 地形変化要因の仮説

(1) 一定速度の汀線後退をもたらす外力の影響

6年間にわたり一定速度で汀線が後退したのであるから、この間何らかの状況の変化により汀線を後退させる一定の外力等が作用したものと考えられる。

一つめの状況の変化として波高の上昇が考えられる。しかしながら、全国港湾波浪観測網（NOWPHAS）の新潟沖の観測地点（水深35m）における2001年から2007年の有義波高は、図-3のとおりである。夏に小さく冬に大きい日本海側の特徴的な波高の変化を毎年繰り返し、波高が年々大きくなるという事実は認められない。

もう一つの考えられる状況の変化として、地盤沈下が考えられる。新潟市周辺では、水溶性天然ガスを採取するために地下水のくみ上げが行われ、昭和30年代から急激な地盤沈下を生じた。昭和48年に天然ガス採取のための地下水のくみ上げが全面禁止されたために昭和50年代からは地盤沈下が穏やかになっている。

しかし、図-4に示すようにバラツキはあるが概ね約1.5cm/年のほぼ一定速度で地盤沈下が進行している。地盤沈下は相対的な海面上昇と考えることができる。（なお、数年前より地盤沈下は沈静化の傾向にある）。

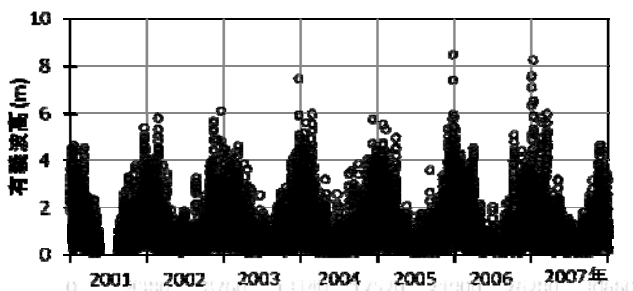


図-3 NOWPHAS 新潟沖の波浪観測結果

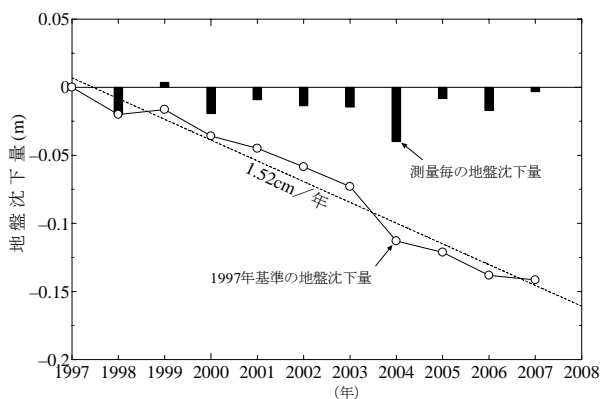


図-4 新潟西海岸付近の地盤沈下量

(2) 静穏期における砂浜の回復の有無

新潟西海岸の波高は、夏に小さく冬に大きい。新潟西

海岸の汀線測量は、6月と10月の年2回実施されているので、6月の測量結果は冬期の高波浪による地形変化を、10月の測量結果は夏期の静穏波浪による地形変化を示していると考えられる。吉田ら(2008)の汀線変化解析によると、一部例外はあるものの、6月測量と10月測量のどちらも汀線の後退を示している。安定な砂浜海岸では、一般的に高波浪時に侵食しても、その後の静穏期に砂浜が回復することで安定性が保たれる。

しかし、新潟西海岸では、静穏期に砂浜が回復しないことが、汀線が後退し続ける要因であると推定できる。

(3) 旧離岸堤と潜堤の影響

新潟西海岸では、「基本水準面（以下「C.D.L.」という）」C.D.L. -1.5m 程度の高さに平坦な地形が形成される特徴がある。この位置は旧離岸堤（図-5 参照）の設置位置である。旧離岸堤とは、1950 年代に建設された潜堤が嵩上げされて離岸堤となったものを、1990 年代に新たな面的防護工法の養浜実施と同時に上層部が撤去されて、再び水面下の構造物とされたものである。旧離岸堤の残存部分の天端高はおよそ C.D.L. -1.5m であり、平坦地形の高さと一致している。

また、沖合の潜堤の天端高は C.D.L. -1.7m~-1.8m 程度で施工されている。この天端高は平坦地形の高さと概ね一致している。

これらのことから、平坦地形の形成に旧離岸堤または潜堤の天端高が影響していることが連想される。

以上をまとめると、養浜断面変化の要因の推定結果は以下のとおりである。

- a) 地盤沈下（相対的な海面上昇）による汀線の後退。
- b) 静穏期に砂浜が回復しないことによる侵食の蓄積。
- c) 旧離岸堤の残存天端高または潜堤の天端高（伝達波高）による平坦地形の形成。

4. 水理模型実験による地形変化要因の検証

前章に示した地形変化要因の影響を検証するために、移動床水理模型実験^{*}を実施した。前述のとおり、現地の養浜断面変化は、沿岸漂砂が少ない断面二次元的なものであるため、水理模型実験は二次元実験とした。水理模型実験の内容を以下に示す。

^{*}移動床水理模型実験：海底面を砂で行う実験。これに対して、固定床実験（モルタルを使用）がある。

(1) 波浪条件

第一区画は突堤で囲われているので、汀線付近が沿岸漂砂によって侵食されることはない。したがって、高波浪時に発生する冲向き漂砂が原因であると考えられる。そのため、NOWPHASの新潟沖における1995年から2004年の10年間の波浪観測結果から、各年の年間上位10波平均と年間第5位の10年間平均の値を参考に、荒天時波浪を有

義波高4.5m, 有義波周期9.5sとした。

なお, 砂浜の回復機能を確認する実験ケースでの静穏時波浪は, 夏場において比較的大きな有義波高1.0m, 有義波周期6.0sとした。

(2) 地盤沈下影響評価実験

一定速度で養浜断面が変化する要因を検証するための実験を実施した。

地盤を固定して考えると地盤沈下は相対的な水位の上昇として考えることができる。そこで, 実験水位を段階的に高くして荒天時波浪を作用させ, 地形変化を確認した。事前に模型ひずみ率^{*}検定実験を実施し, 現地海岸と同様な地形変化を示す条件として, 模型ひずみ率1:1.5を採用した。地盤沈下影響評価実験では, 現地の海浜断面を模擬した海浜断面を設置し, まず平均潮位であるC.D.L.+0.17mの潮位で, 荒天時波浪を10時間作用させて, 実験水路内に安定地形を形成した。次に潮位をC.D.L.+0.31m, C.D.L.+0.45mと0.14m(過去6年間の地盤沈下推定量)ずつ段階的に高くしながら荒天時波浪をそれぞれ10時間ずつ作用させ, 地形変化の状況を調べた。

^{*}模型ひずみ率: 移動床実験においては, 砂の粒径に下限があるため, 相似性を満足しない。この相似性を満足させるため, 水平縮尺と鉛直縮尺を変えること。

3種類の潮位で荒天時波浪を10時間ずつ作用させた後の海浜断面変化は図-5のとおりである。

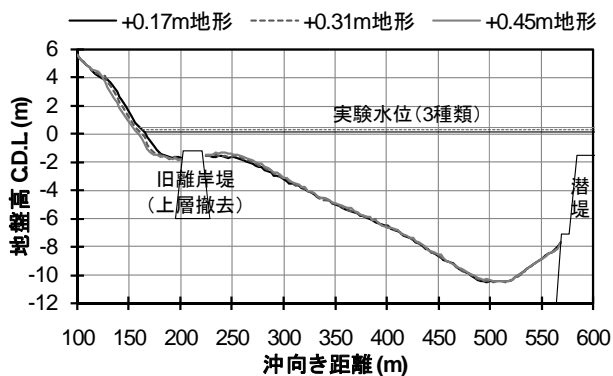


図-5 水位変更による海浜断面変化(汀線付近拡大図)

この結果より, 実験水位を高くすることによって, 汀線付近では海浜勾配が変わらずに平行移動で汀線が後退し, 水深2m付近で水平部が広がり沖側に薄く堆積する結果が得られた。

このように, 地盤沈下の代わりに水位を段階的に高くした移動床実験により, 現地海岸と同様に海浜勾配は変わらずに汀線が後退したことから, 地盤沈下が汀線後退の要因の一つであると考えられる。

(3) 砂浜回復影響評価実験

汀線付近において継続的な侵食を生じる要因として, 静穏期に砂浜が回復しないことが考えられるので, 模型

実験において, 静穏期の波浪による海浜断面変化と漂砂量を確認した。結果は図-6のとおりである。

凡例に示した「旧離岸堤あり」は, 旧離岸堤と潜堤の両方がある状態, 「旧離岸堤なし」は, 旧離岸堤なしで潜堤ありの状態, 「潜堤なし」は, 旧離岸堤と潜堤の両方がない状態である。それぞれの構造物配置で現地の海浜断面を模擬した海浜断面を設置し, 荒天時波浪を10時間作用させ, その後に静穏期波浪を10時間作用させた後の断面は, 図-6の上段で, 静穏期波浪10時間の波作用による漂砂量は, 図-6の下段のとおりである。荒天時波浪を10時間作用させた時点で各構造物配置の海浜断面が異なったものとなっているので, 上段の海浜断面図で静穏期波浪の比較は行えない。

そこで, 海浜断面図は下段の漂砂量図と位置関係の確認に用いた。漂砂量図は右上がりの勾配部分が堆積で, 右下がり勾配部分が侵食である。漂砂量図を見ると, 波高と構造物配置によって漂砂量に違いはあるものの, いずれのケースでも, 汀線より岸側の遡上域から平坦地形の岸端の範囲で侵食, 平坦地形の岸端から旧離岸堤の範囲で堆積, 旧離岸堤から平坦地形の沖端付近の範囲で侵食, それより沖側で堆積している。

すなわち, 汀線付近の砂は旧離岸堤付近に移動し, 平坦地形の旧離岸堤より沖側の砂は沖側に移動していることから, 漂砂方向は沖向きであることがわかる。

これらの結果は, 現地海岸において夏期においても侵食が進行している観測結果と一致している。

なお, 「旧離岸堤あり」の構造物配置では有義波高1.5mの実験も実施しており, 波高1.0mと同じ傾向で漂砂量が約2倍大きい結果であった。

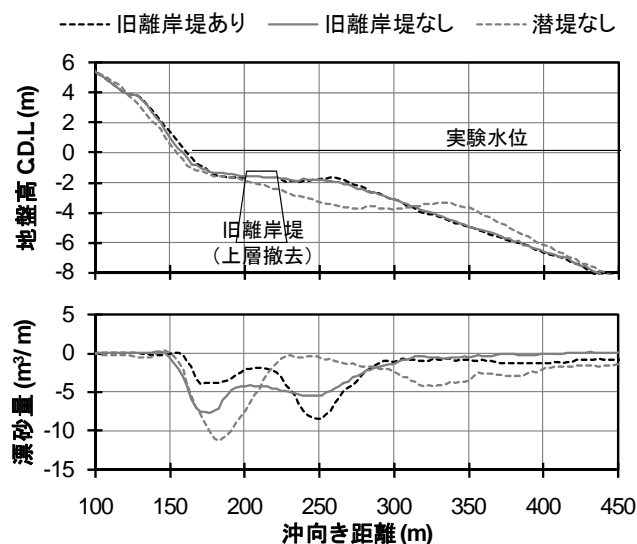


図-6 静穏時波浪(波高1.0m)による海浜断面変化と漂砂量

新潟西海岸において静穏期に砂浜が回復していない原因は二つ考えられる。

一つは潜堤と養浜を組み合わせた面的防護海浜では, 静穏期にも砂浜が回復しにくい可能性である。ただし,

潜堤なしの実験断面においても砂浜が回復しなかったことから、砂浜の回復に対して潜堤の影響は小さいといえる。

もう一つは、日本海側では潮位の変動幅が小さいので、静穏期の漂砂量が少なく、そのために砂浜の回復も起こりにくい可能性である。加藤ら(1981)は潮位が-0.4m から+0.6m, 有義波高が 1.0m から 1.8m の範囲で変動する 4 日間にわたり、現地海岸に設置した仮設の二次元水路内の地形変化を計測し、上げ潮時には岸向き漂砂を生じ、下げ潮時には沖向き漂砂を生じることを報告している。服部ら(1980)も現地観測によって同様な成果を得ている。新潟西海岸は潮位変動が平均的に 0.5m 程度で、夏期の有義波高は 1m 未満の出現頻度が 96%を占めることから、夏期の漂砂量が少ないため、砂浜の回復も起こりにくい可能性がある。

このように、静穏な波浪によって岸向き漂砂が少ないため、冬期の高波浪による侵食が残存し蓄積されることで、継続的に汀線が後退していると考えられる。

(4) 旧離岸堤・潜堤影響評価実験

前述のとおり、C.D.L. -1.5m 付近に平坦地形が形成される要因として旧離岸堤や潜堤の存在が考えられるので、これらの影響について検討する実験を実施した。

旧離岸堤なしの状態での現地の海浜断面を模擬した海浜断面を設置し、平均潮位であるC.D.L. +0.17mの潮位で荒天時波浪を10時間作用させた結果は、図-7の「潜堤あり」とおりである。この海浜断面を図-5に示した旧離岸堤ありの結果と比較すると、波作用10時間後の両者の地形はほぼ同じであり、どちらも平坦地形が維持されている。

したがって、C.D.L. -1.5m程度の平坦地形の形成に旧離岸堤は影響していないといえる。

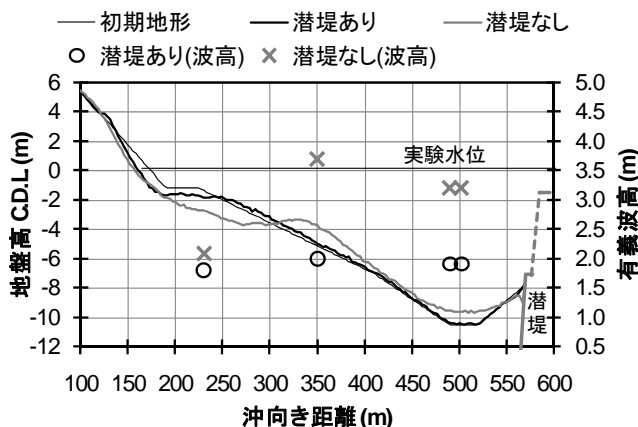


図-7 潜堤なし・ありの海浜断面変化と波高の比較

潜堤の影響を確認するために、図-7に破線で示す潜堤の消波ブロック層を撤去した状態で、現地の海浜断面を模擬した海浜断面を設置し、平均潮位であるC.D.L. +0.17mの潮位で荒天時波浪を10時間作用させた結果は、図-7の「潜堤なし」とおりである。

「潜堤なし」では、C.D.L. -1.5m程度の平坦地形が完全に削り取られ、沖向き距離300m以上に堆積している。その結果として、若干の起伏はあるけれども、沖向き距離250～350m付近に新たな平坦地形が形成されており、その高さはおよそC.D.L. -3.5mである。「潜堤なし」の潜堤直背後の有義波高を図-7で確認すると3.2mであり、新たな平坦地形の水深とほぼ一致している。

「潜堤あり」の潜堤直背後の有義波高は、1.9mでこの条件の平坦地形の地盤高はおよそC.D.L. -1.7mであるので、やはり有義波高と平坦地形の水深がほぼ一致している。

すなわち、平坦地形は波高水深比がほぼ1の地点に形成され、その水深は移動限界水深*と比べるとかなり小さい。

*移動限界水深：底質の粒径から求まる、底質材が移動する限界の水深。

以上により、旧離岸堤の存在は、平坦地形の形成に影響していないこと、平坦地形の形成には潜堤の存在が影響しており、平坦地形は潜堤の伝達波高と同じ水深に形成されること、を確認した。

5. まとめ

新潟西海岸の養浜地形で生じている汀線後退や平坦地形形成の要因を推定し、その要因の影響を二次元移動床水理模型実験で評価した結果は、以下のとおりである。

- 一定速度で生じている汀線後退の要因の一つとして考えられる外力の変化は、地盤沈下である。
- 静穏な波浪によって岸向き漂砂が少ないため、高波浪が頻発する冬期の侵食が残存し、そのために継続的に汀線が後退していると考えられる。
- 汀線の沖側に平坦地形が形成される要因は、潜堤の存在であり、平坦地形は潜堤の伝達波高と同じ水深に形成される。また、新潟西海岸では地盤沈下による相対的な海面上昇によって平坦地形が徐々に広がっている可能性がある。

今回は、新潟西海岸における汀線の侵食メカニズムの解明を行い、地盤地下や静穏期に砂浜が回復しないこと等が要因の一つであることを把握できた。今後の侵食防止対策を検討するうえで、沈静化しつつある地盤沈下についてモニタリングを行い、侵食との因果関係についてさらなる検証を行う必要があると考えられる。

参考文献

- 加藤一正・田中則男・灘岡和夫(1981)：前浜の二次元的地形変化と潮位・波について、第28回海岸工学講演会論文集、pp. 207-211。
- 服部昌太郎・小松登(1980)：現地海浜の岸沖漂砂量に関する研究、第27回海岸工学講演会論文集、pp. 187-191。
- 吉田秀樹・清水利浩・伊部知徳・山田貴裕・片野明良(2008)：大規模潜堤背後の海浜地形の特徴と地盤沈下による断面変化、海岸工学論文集、第55巻、pp. 751-755。